

長大橋の観測データの活用による 維持管理支援システムの検討

京都大学大学院工学研究科
金 哲佑

目次



- 研究背景
- 自治体管理の小規模斜張橋の短・長期モニタリング
- 短期常時振動モニタリングによるケーブル振動数と張力
- 長期常時振動モニタリングによるケーブル振動数と張力
- ケーブル張力モニタリングによる異常検知の可能性
 - 短期常時振動モニタリング
 - 長期常時振動モニタリング
- 今後の計画

研究背景

（特に自治体管理）ケーブルを有する特殊橋の維持管理における課題

- 全てのケーブルを対象とした点検とモニタリングの難しさ
- 体系化された維持管理指針やモニタリング手法の不在
- 自治体の長大橋管理を支援できる点検・モニタリング情報がほぼない。

本研究プロジェクトが目指すところ

- 難しいとされているケーブル構造を持つ橋梁の点検とモニタリングについて検討
- ケーブルを有する特殊橋の維持管理に有効活用できるようにフィードバック

本研究プロジェクトの研究内容

【令和元年】実態調査：ケーブル構造の特殊橋の劣化特性とモニタリング事例

【令和 2年】

- 定期点検の限界を補足できる条件の検討
- 長期計測における季節変動成分の除去法の構築
- 自治体管理のケーブル構造の特殊橋の長期モニタリング実施
- モニタリング情報と目視点検データとの相関検討
（計測張力とケーブルの断面減少による張力変化（解析））

自治体管理の小規模斜張橋の短・長期モニタリング

【目的】 ケーブルの振動モニタリングによる異常検知の可能性

【内容】 短・長期振動モニタリングによるケーブル振動数・張力同定

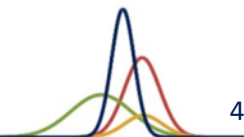
【対象】 単径間鋼箱桁斜張橋

- 完成年度：1990
- 橋 長：179.50 m
- 主径間長：124.00 m
- 全 幅 員：9.70 m

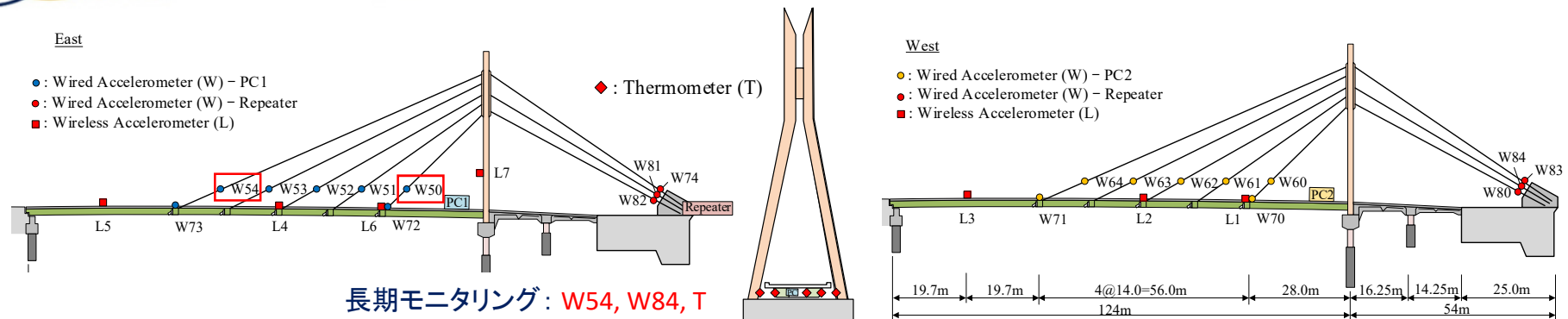


【計測概要】

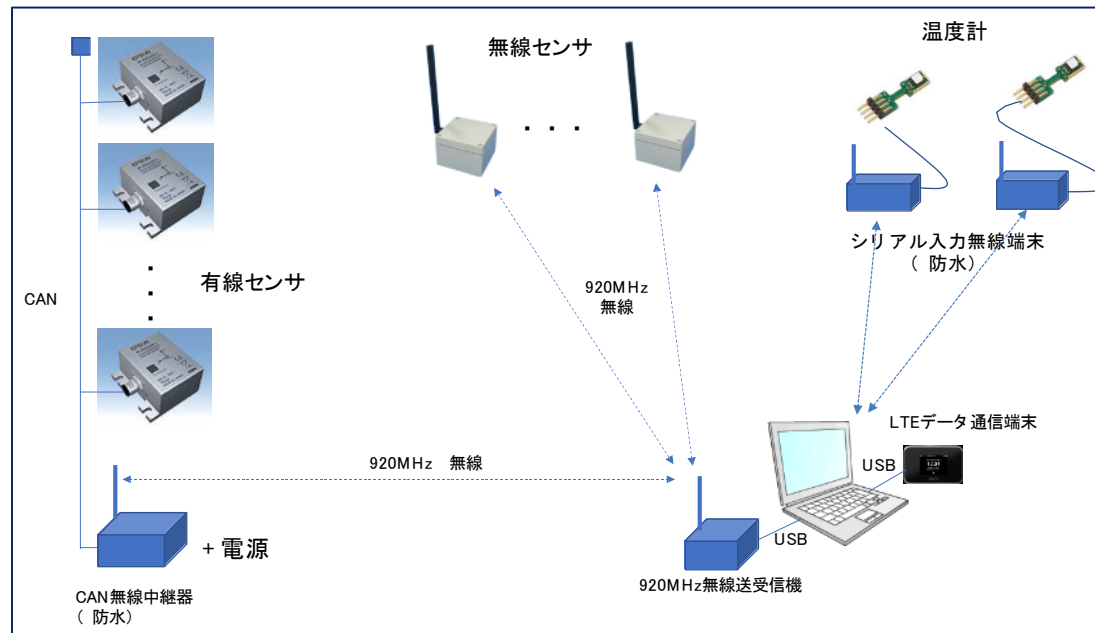
- 短期モニタリング（2020年11月10日～12日）
 - 振動特性の把握
 - 常時振動計測によるケーブル振動推定の精度検討
 - モニタリング対象の物理量検討（ケーブル張力、複数モードの振動数）
 - FEモデルのキャリブレーション
- 長期モニタリング（2020年12月26日より）
 - モニタリング対象の物理量の季節変動検討
 - 季節変動除去による物理量のばらつき検討



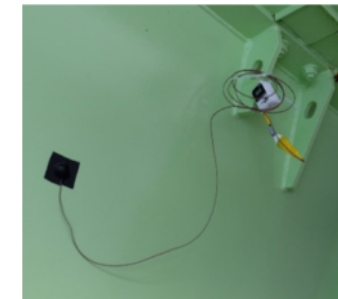
自治体管理の小規模斜張橋の短・長期モニタリング



モニタリングシステム



ケーブル振動計測



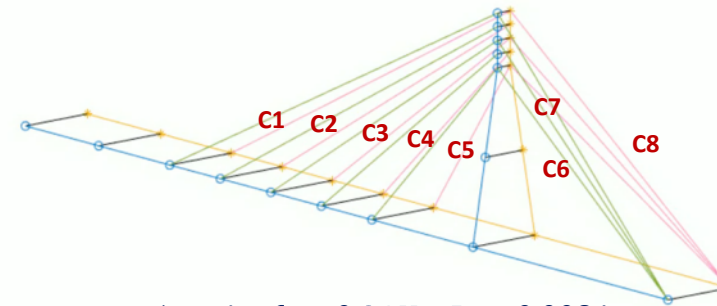
温度センサ

短期常時振動モニタリングによるケーブル振動数

同定振動数

常時振動による桁部ケーブル振動数推定
(東側ケーブルの例: 西側のケーブルも同様)

ID	No.	推定値	モード次数				
			2	3	4	5	6
C5	011	平均 (Hz)	4.13	6.24	8.34	10.64	12.96
		標準偏差(Hz)	0.04	0.01	0.17	0.03	0.05
		変動係数(%)	1.0	0.2	2.0	0.3	0.4
C4	012	平均 (Hz)	3.60	5.40	7.22	9.08	10.94
		標準偏差(Hz)	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03
		変動係数(%)	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3
C3	013	平均 (Hz)	2.75	4.35	5.83	7.27	8.77
		標準偏差(Hz)	0.11	0.01	0.03	0.02	0.02
		変動係数(%)	4.0	0.2	0.5	0.3	0.2
C2	014	平均 (Hz)	2.44	3.69	4.94	6.19	7.45
		標準偏差(Hz)	0.01	0.01	0.00	0.02	0.03
		変動係数(%)	0.4	0.3	0.0	0.3	0.4
C1	015	平均 (Hz)	2.13	3.18	4.25	5.33	6.41
		標準偏差(Hz)	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01
		変動係数(%)	1.9	0.3	0.5	0.2	0.2



$$1^{\text{st}} \text{ mode: } f_1 = 0.84\text{Hz}, \zeta_1 = 0.0084$$

常時振動による定着部ケーブル振動数推定
(東側ケーブルの例: 西側のケーブルも同様)

ID	No.	推定値	モード次数				
			2	3	4	5	6
C8	001	平均 (Hz)	3.3	5.02	7.23	8.08	9.85
		標準偏差(Hz)	0.05	0.07	0.07	0.06	0.05
		変動係数(%)	1.5	1.4	1.0	0.7	0.5
C7	002	平均 (Hz)	3.79	5.59	7.23	8.83	10.42
		標準偏差(Hz)	0.21	0.12	0.14	0.14	0.17
		変動係数(%)	5.5	2.1	1.9	1.6	1.6
C6	003	平均 (Hz)	3.16	4.71	6.16	7.98	9.8
		標準偏差(Hz)	0.01	0.08	0.13	0.01	0.2
		変動係数(%)	0.3	1.7	2.1	0.1	2.0

- 常時振動から同定したケーブルの1次振動は桁振動の影響が卓越
- 桁振動の影響が少ない2次以上(対象橋では7次まで)の振動数は安定的に推定可能.
- 常時振動でもケーブル振動とケーブル張力の推定が可能(桁部変動係数:最大4%, 定着部変動係数:最大5.5%)

短期常時振動モニタリングによるケーブル張力

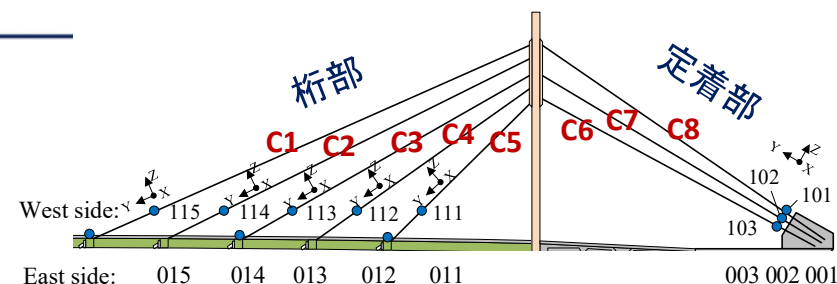
同定張力

常時振動によるケーブル張力推定

桁部ケーブル

ID	設計値* (kN)	平均 (kN)	標準偏差 (kN)	変動係数 (%)
C5 011 111	1332	1055.7	2.9	0.3
		1081.9	2.4	0.2
C4 012 112	1460	1292.2	1.2	0.1
		1263.8	1.3	0.1
C3 013 113	1499	1292.0	1.5	0.1
		1223.3	1.4	0.1
C2 014 114	2920	2459.5	2.1	0.1
		2474.8	2.1	0.1
C1 015 115	3057	2505.3	1.5	0.1
		2493.6	2.2	0.1

桁部のケーブルの同定張力の標準偏差: 1kN(0.1tf)~3kN(0.3tf)に分布 → 2σ の変動を考慮しても6kN(0.6tf)以上の変化であれば異常検知の可能性



定着部ケーブル

ID	設計値* (kN)	平均 (kN)	標準偏差 (kN)	変動係数 (%)
C8 001 101	4312	4374.0	29.5	0.7
		4421.6	28.4	0.6
C7 002 102	4586	4544.4	23.0	0.5
		4617.7	25.7	0.6
C6 003 103	1577	1502.2	7.4	0.5
		1426.3	4.9	0.3

定着部ケーブルの同定張力の標準偏差: 5kN(0.5tf)~30kN(3tf)

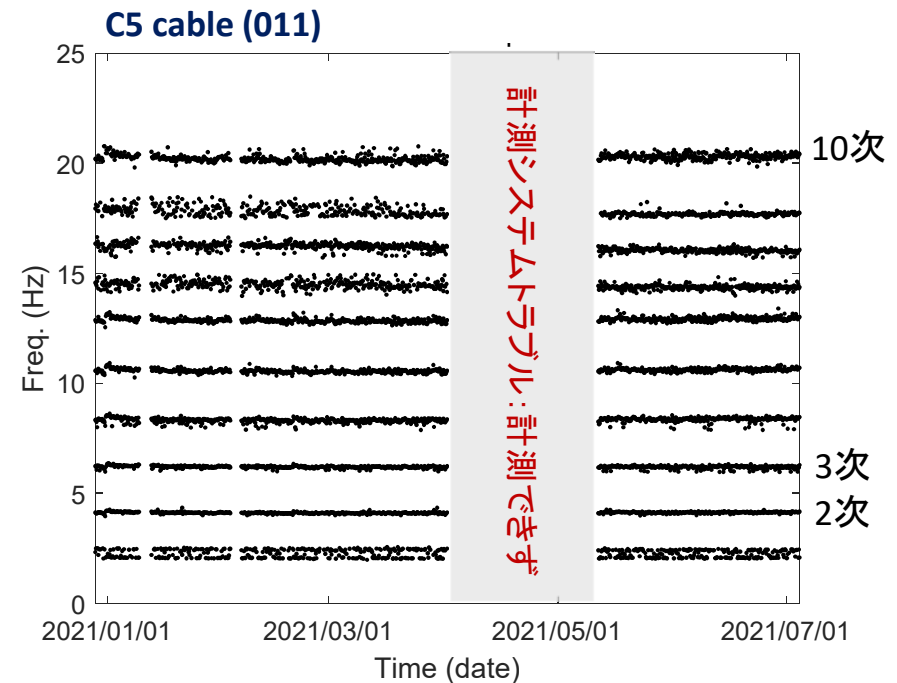
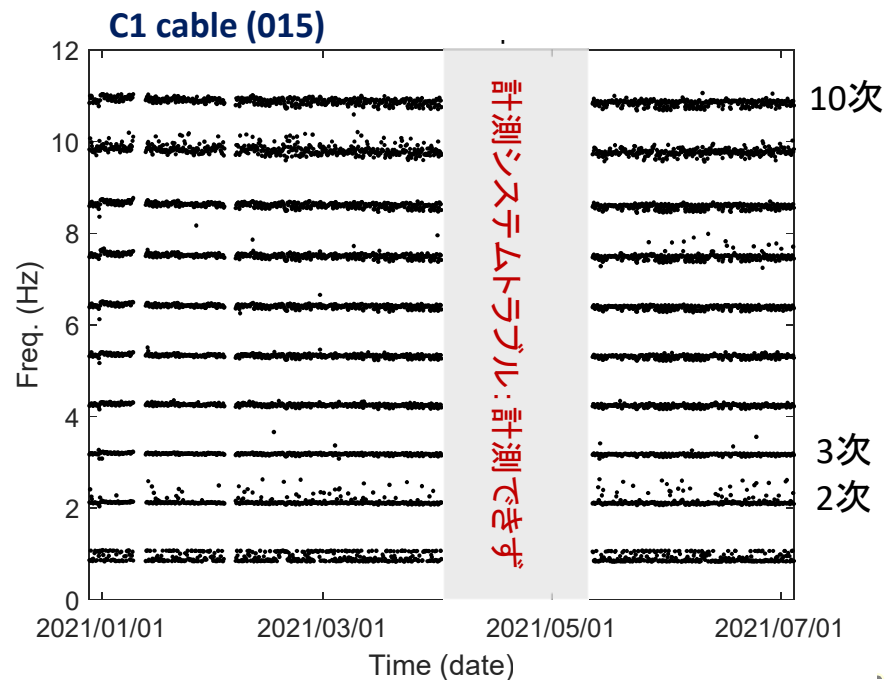
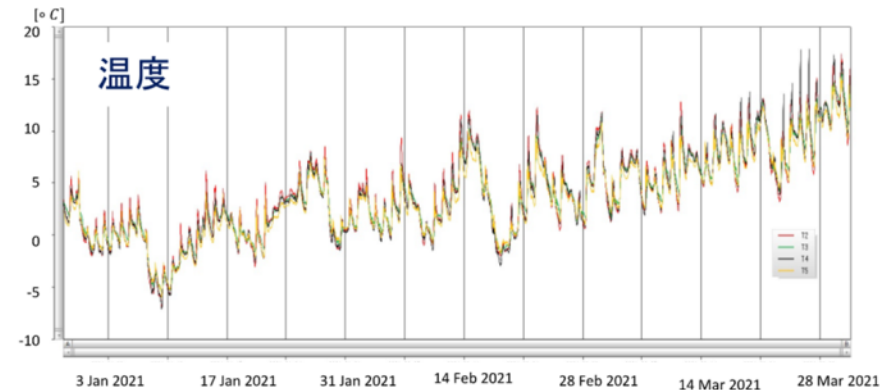
→ 2σ の変動を考慮しても60kN(6tf)以上の変化であれば異常検知の可能性

設計値*: 死荷重 + 初期張力を考慮した解析値

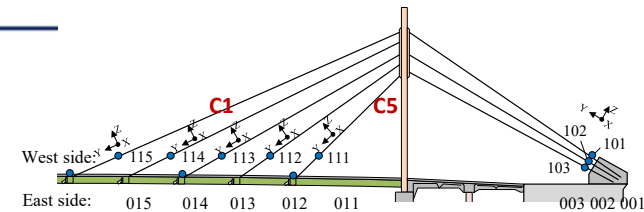
長期常時振動モニタリングによるケーブル振動数

【遠隔常時振動モニタリング】

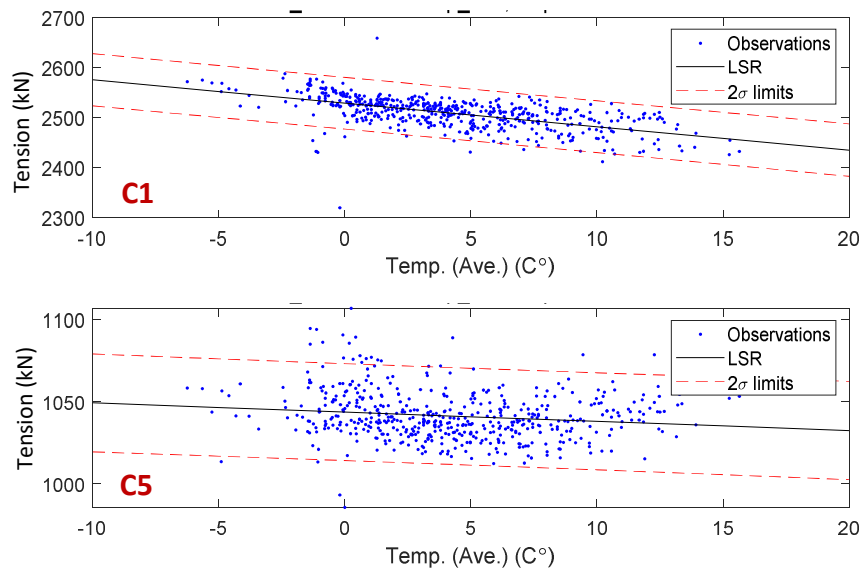
- 200Hzにて連続計測. 10分毎に分割して記録.
- 温度: 10分毎の計測値を, 1日毎にまとめて記録.
- 計測結果を適宜クラウドストレージへアップロード.
- リモートデスクトップによる保守管理.



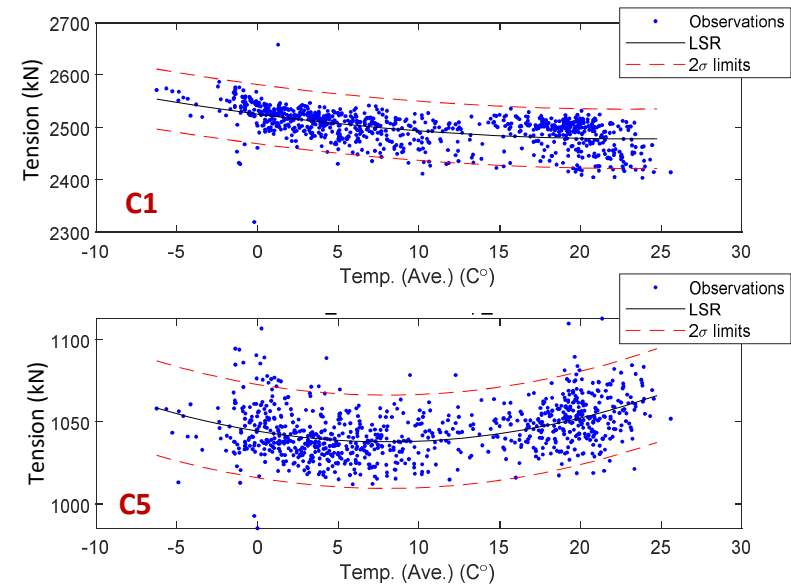
長期常時振動モニタリングによるケーブル張力



長期モニタリングデータ(2020/12/28~2021/03/31)

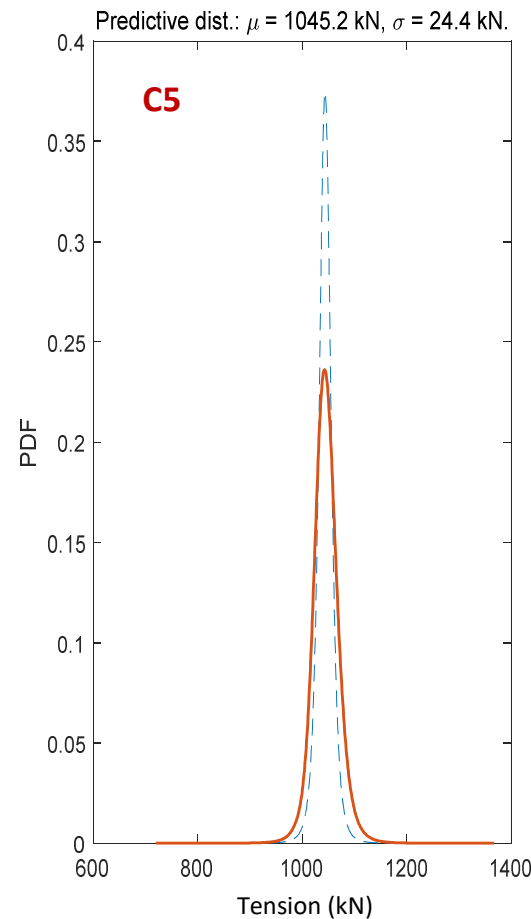
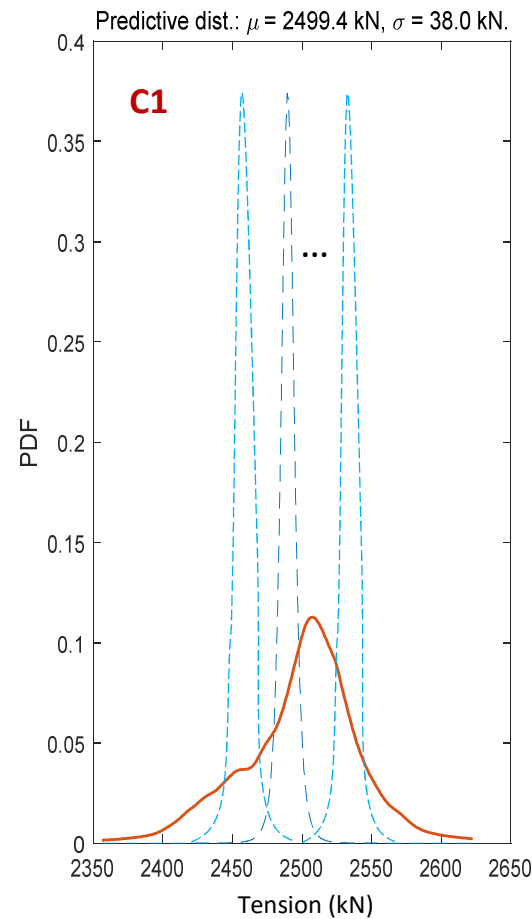
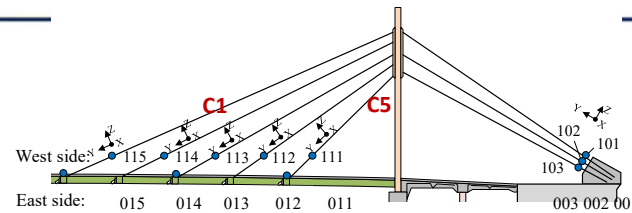


長期モニタリングデータ(2020/12/28~2021/07/01)



- 張力と温度の関係: データ集積によって**非線形性**が目立つ(半年以上のデータを用い季節変動を評価する必要)

長期常時振動モニタリングによるケーブル張力



— 半年間の推定張力の確率分布

- - - ある日のモニタリングによる推定張力分布

長いケーブル: 季節変動(大)

短いケーブル: 季節変動(小)

標準偏差: 38kN (C1), 24kN (C5)

→ 長期モニタリングのばらつきも
考慮する必要

ケーブル張力モニタリングによる異常検知の可能性

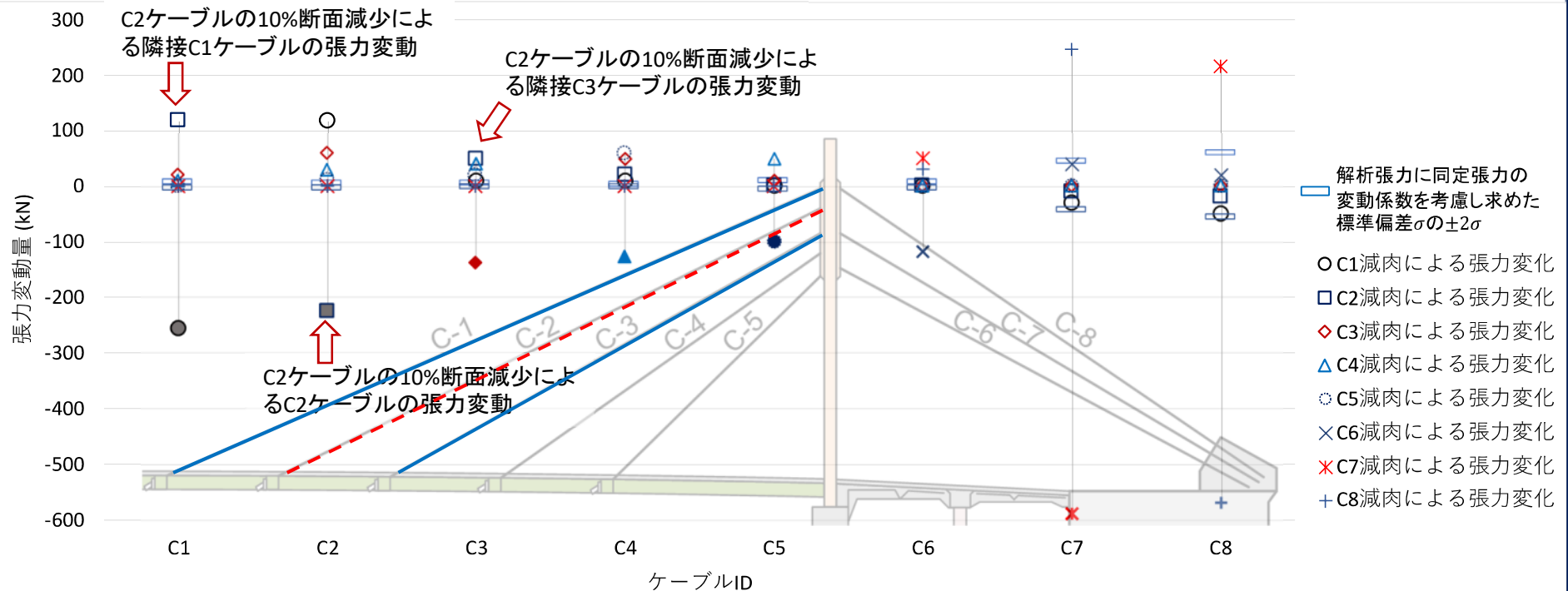
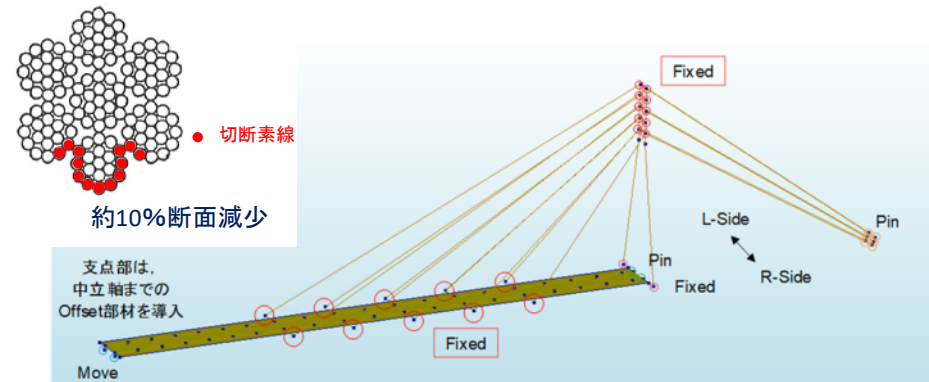
短期常時振動モニタリング

ケーブルの断面減少率10%による張力変化量 vs.
同定張力の標準偏差 $\pm 2\sigma$

常時振動による同定張力の標準偏差 $\pm 2\sigma$

桁部: 2kN(0.2tf) ~ 6kN(0.6tf)

定着部: 10kN(1.0tf) ~ 60kN(6tf)



ケーブル張力モニタリングによる異常検知の可能性

長期常時振動モニタリング

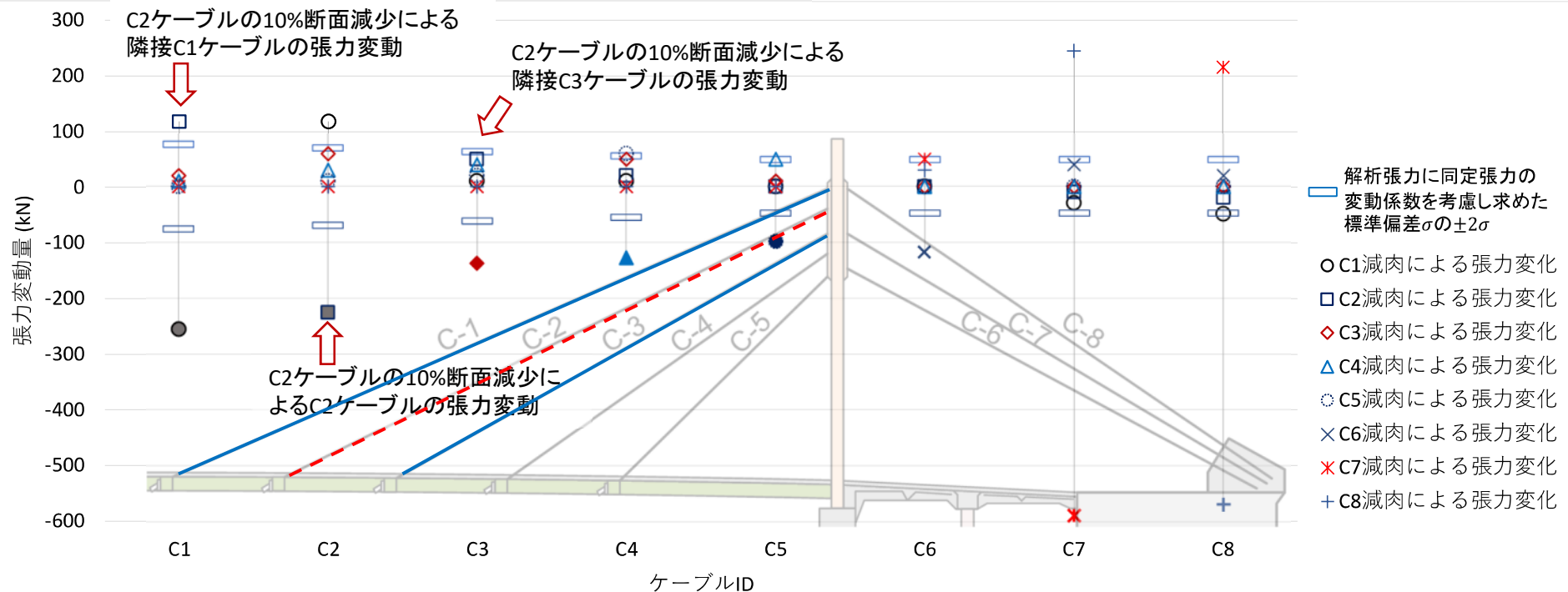
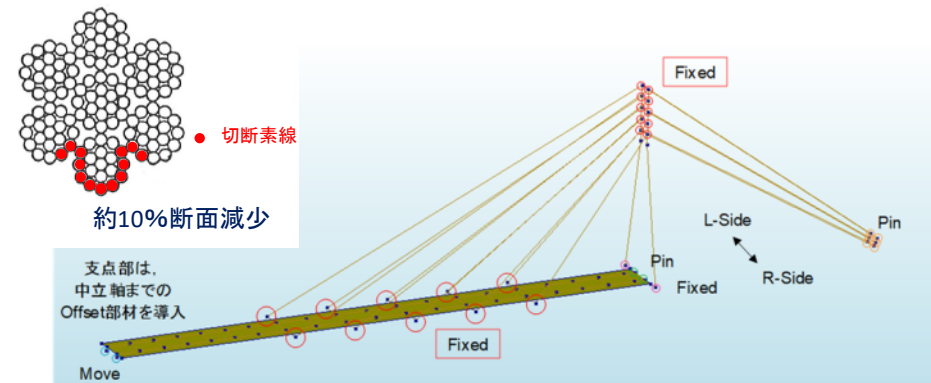
ケーブルの断面減少率10%による張力変化量 vs.
長期同定張力の最大標準偏差30kNの $\pm 2\sigma$

長期同定張力の標準偏差 $\pm 2\sigma$

C1: 76kN(7.6tf), C5: 48kN(4.8tf)

C2~C4: (C1とC8の線形補間)

C6~C7: C5と同じと仮定



今後の計画

吊り橋（新規）

- ・ 短・張期モニタリングの予定
（主ケーブル振動，塔の頂部の挙動）
- ・ 主ケーブル，ハンガーケーブルとケーブル定着部の損傷程度がモニタリング物理量に及ぼす影響
- ・ 実態調査に基づき，吊り形式橋梁の損傷シナリオを設定し，対象物理量の感度解析
- ・ モデル作成には設計図書とモニタリングの結果を利用



－ 斜張橋（継続）

- 3年間の実橋梁での試験的なモニタリングや実態調査内容をまとめ
- 小規模の斜張橋および吊り橋の着目すべきリスクと維持管理のためのモニタリングの適用可能性と限界



プロジェクト名:長大橋の観測データの活用による維持管理支援システムの検討

ご静聴ありがとうございました.